

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-203800  
 (43)Date of publication of application : 18.07.2003

(51)Int.CI. H05H 1/46  
 B01J 19/08  
 C23C 16/505  
 H01L 21/205  
 H01L 21/3065  
 H01L 21/31  
 H05H 1/24

(21)Application number : 2002-264392 (71)Applicant : SEKISUI CHEM CO LTD  
 (22)Date of filing : 10.09.2002 (72)Inventor : SEZUKURI KAZUSHI  
 YARA TAKUYA  
 FUJITA HIDEAKI

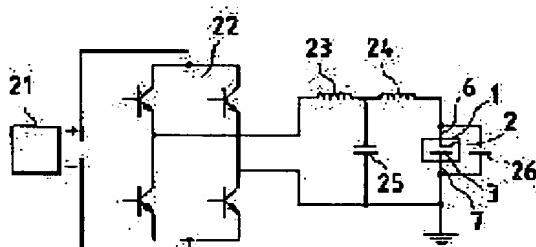
(30)Priority  
 Priority number : 2001280008 Priority date : 14.09.2001 Priority country : JP

## (54) METHOD AND DEVICE FOR NORMAL PRESSURE PLASMA PROCESSING

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a method and device for normal pressure plasma processing capable of performing stable glow discharge plasma processing by a continuous wave under a pressure close to atmospheric pressure.

**SOLUTION:** This method for normal pressure plasma processing performs the glow discharge plasma processing by installing a solid dielectric on at least one opposite surface of a pair of counter electrodes 2, 3 under the pressure close to atmospheric pressure, supplying an atmospheric gas between the counter electrodes, and applying an electric field, and is characterized by that the continuous wave of a resonance frequency of 10 kHz-100 MHz, and an electric field strength between electrodes of 10 kV/cm-100 kV/cm is applied between the counter electrodes 2, 3 from resonance circuits 23, 24, 25, 2, 3, 26 for performing immittance conversion.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 08.01.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 06.04.2005

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-203800

(P 2003-203800 A)

(43) 公開日 平成15年7月18日 (2003.7.18)

(51) Int. Cl.	識別記号	F I	マーク (参考)
H05H 1/46		H05H 1/46	R 4G075
B01J 19/08		B01J 19/08	E 4K030
C23C 16/505		C23C 16/505	H 5F004
H01L 21/205		H01L 21/205	5F045

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 9 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2002-264392 (P 2002-264392)	(71) 出願人	000002174 積水化学工業株式会社 大阪府大阪市北区西天満2丁目4番4号
(22) 出願日	平成14年9月10日 (2002.9.10)	(72) 発明者	勢造 一志 大阪府三島郡島本町百山2-1 積水化学 工業株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2001-280008 (P 2001-280008)	(72) 発明者	屋良 卓也 東京都八王子市北野町593-8 積水化学 工業株式会社内
(32) 優先日	平成13年9月14日 (2001.9.14)	(72) 発明者	藤田 英明 東京都目黒区大岡山2-12-1
(33) 優先権主張国	日本 (JP)		

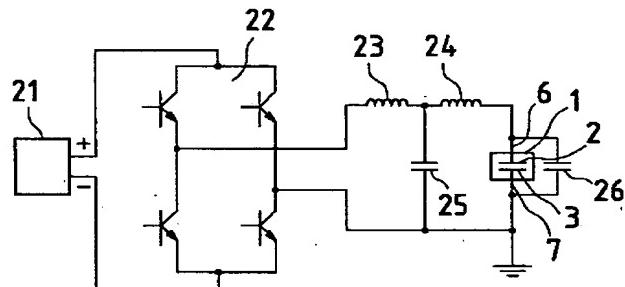
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】常圧プラズマ処理方法および装置

(57) 【要約】

【課題】大気圧近傍の圧力下で、連続波によって安定したグロー放電プラズマ処理を行うことのできる常圧プラズマ処理方法および装置を提供すること。

【解決手段】常圧プラズマ処理方法として、大気圧近傍の圧力下で、一对の対向電極2, 3の少なくとも一方の対向面に固体誘電体を設置し、該対向電極間に雰囲気ガスを供給して電界を印加することによりグロー放電プラズマ処理を行う方法であって、イミタンス変換を行う共振回路23, 24, 25, 2, 3, 26から、共振周波数が10kHz～100MHz、電極間電界強度が10kV/cm～100kV/cmからなる連続波を対向電極2, 3間に印加するようにしたことを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 大気圧近傍の圧力下で、一対の対向電極の少なくとも一方の対向面に固体誘電体を設置し、該対向電極間にガスを供給して電界を印加することによりグロー放電プラズマ処理を行う方法であって、共振回路から、共振周波数が10kHz～100MHz、電極間電界強度が10kV/cm～100kV/cmからなる連続波を前記対向電極間に印加するようにしたことを特徴とする常圧プラズマ処理方法。

【請求項2】 大気圧近傍の圧力下で、一対の対向電極の少なくとも一方の対向面に固体誘電体を設置し、該対向電極間にガスを供給して電界を印加することによりグロー放電プラズマ処理を行う方法であって、イミタンス変換を行う共振回路から、共振周波数が10kHz～100MHz、電極間電界強度が10kV/cm～100kV/cmからなる連続波を前記対向電極間に印加するようにしたことを特徴とする常圧プラズマ処理方法。

【請求項3】 少なくとも一方の対向面に固体誘電体が設置された一対の対向電極と、前記対向電極間に電界を印加する電源装置とを備え、大気圧近傍の圧力下で、前記対向電極間にガスを供給し、前記電源装置から供給される前記電界を印加することによりグロー放電プラズマ処理を行う装置であって、前記電源装置は、少なくともイミタンス変換を行う共振回路を備え、該共振回路からイミタンス変換された電界を前記対向電極間に印加するようにしたことを特徴とする常圧プラズマ処理装置。

【請求項4】 前記電源装置は、直流電圧をスイッチングすることにより高周波電圧を出力するインバータ回路と、前記インバータ回路の出力をイミタンス変換する前記共振回路とから構成されることを特徴とする請求項3に記載の常圧プラズマ処理装置。

【請求項5】 前記電源装置は、直流電圧をスイッチングすることにより高周波電圧を出力するインバータ回路と、前記インバータ回路の出力を昇圧する昇圧トランジストと、共振回路のインダクタンス成分として前記昇圧トランジストのインダクタンス成分を含み、該昇圧トランジストの出力をイミタンス変換する前記共振回路とから構成されることを特徴とする請求項3に記載の常圧プラズマ処理装置。

【請求項6】 前記電源装置は、前記対向電極に印加される電界の共振周波数を検出する検出手段と、前記検出された共振周波数に基づいて共振を維持するように前記インバータ回路の駆動信号を制御する同調回路とを備えることを特徴とする請求項4または請求項5に記載の常圧プラズマ処理装置。

【請求項7】 前記共振回路の容量成分は、前記対向電極間の容量成分および／または放電前後の共振周波数の変動を防止するために前記対向電極間に設けられた変動

防止コンデンサの容量成分を含むことを特徴とする請求項3～請求項6のいずれか1つの請求項に記載の常圧プラズマ処理装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、常圧プラズマ処理方法および装置に係わり、特に、常圧（略大気圧）下で安定したグロー放電プラズマを発生することのできる常圧プラズマ処理方法および装置に関する。

## 10 【0002】

【従来の技術】従来、減圧下でのプラズマ処理に関しては多種多様の処理方法が提案されている。

【0003】一方、常圧（略大気圧）下でのプラズマ処理方法としては、

1， 雰囲気ガスとしてヘリウムガスを用いると共に、放電電極間に連続波電圧を印加する。

【0004】2， 放電電極間にパルス電界を印加してコロナ放電処理する。

【0005】3， 放電電極の少なくとも一方の電極に誘電体を被覆し、パルス電界を印加してプラズマ処理する（例えば、特許文献1参照。）。

【0006】等の処理方法が提案されている。

## 【0007】

【特許文献1】特開平10-154598号公報

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記1の処理方法では、ヘリウムガスが高価であるため、ランニングコストが高くなるという問題がある。また、上記2，3の処理方法では、放電電極間に印加される電圧波形がパルス状であるため、電流波形もパルス状となる。そのため平均入力電力は小さな値であるが、パルスのピーク値に合わせてパルス電圧を出力させるインバータ回路や直流電源装置の容量を大きくしなければならず、装置が大型化、高コスト化する問題がある。また、パルスであるため、時間平均のプラズマ密度を高くすることができず、処理速度の点でも問題がある。

【0009】本発明の目的は、上記の問題点に鑑み、簡便な装置構成にも拘わらず、大気圧近傍の圧力下で、連続波によってアーク放電のない安定したグロー放電プラズマ処理を行うことを可能にした常圧プラズマ処理方法および装置を提供することにある。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記の課題を解決するために、次のような手段を採用した。

【0011】第1の手段は、常圧プラズマ処理方法として、大気圧近傍の圧力下で、一対の対向電極の少なくとも一方の対向面に固体誘電体を設置し、該対向電極間にガスを供給して電界を印加することによりグロー放電プラズマ処理を行う方法であって、共振回路から、共振周波数が10kHz～100MHz、電極間電界強度が10kV/cm～100kV/cmからなる連続波を前記対向電極間に印加するようにしたことを特徴とする常圧プラズマ処理方法。

0 kV/cm～100 kV/cmからなる連続波を前記対向電極間に印加するようにしたことを特徴とする。

【0012】第2の手段は、常圧プラズマ処理方法として、大気圧近傍の圧力下で、一対の対向電極の少なくとも一方の対向面に固体誘電体を設置し、該対向電極間にガスを供給して電界を印加することによりグロー放電プラズマ処理を行う方法であって、イミタンス変換を行う共振回路から、共振周波数が10 kHz～100 MHz、電極間電界強度が0 kV/cm～100 kV/cmからなる連続波を前記対向電極間に印加するようにしたことを特徴とする。

【0013】第3の手段は、常圧プラズマ処理装置として、少なくとも一方の対向面に固体誘電体が設置された一対の対向電極と、前記対向電極間に電界を印加する電源装置とを備え、大気圧近傍の圧力下で、前記対向電極間にガスを供給し、前記電源装置から供給される前記電界を印加することによりグロー放電プラズマ処理を行う装置であって、前記電源装置は、少なくともイミタンス変換を行う共振回路を備え、該共振回路からイミタンス変換された電界を前記対向電極間に印加するようにしたことを特徴とする。

【0014】第4の手段は、第3の手段において、前記電源装置は、直流電圧をスイッチングすることにより高周波電圧を出力するインバータ回路と、前記インバータ回路の出力をイミタンス変換する前記共振回路とから構成されることを特徴とする。

【0015】第5の手段は、第3の手段において、前記電源装置は、直流電圧をスイッチングすることにより高周波電圧を出力するインバータ回路と、前記インバータ回路の出力を昇圧する昇圧トランスと、共振回路のインダクタンス成分として前記昇圧トランスのインダクタンス成分を含み、該昇圧トランスの出力をイミタンス変換する前記共振回路とから構成されることを特徴とする。

【0016】第6の手段は、第4の手段または第5の手段において、前記電源装置は、前記対向電極に印加される電界の共振周波数を検出する検出手段と、前記検出された共振周波数に基づいて共振を維持するように前記インバータ回路の駆動信号を制御する同調回路とを備えることを特徴とする。

【0017】第7の手段は、第3の手段ないし第6の手段のいずれか1つの手段において、前記共振回路の容量成分は、前記対向電極間の容量成分および/または放電前後の共振周波数の変動を防止するために前記対向電極間に設けられた変動防止コンデンサの容量成分を含むことを特徴とする。

#### 【0018】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の実施形態を図1～図8を用いて説明する。

【0019】図1は、本発明に係る常圧プラズマ処理装置のプラズマ処理構造の一例を示す図である。

【0020】同図において、1はプラズマ処理に必要なガス雰囲気とするためのプラズマ処理容器、2はプラズマ処理に必要な電界を印加する放電電極、3は放電電極2に対向して設けられる接地側の放電電極、4は、放電電極3上に、放電電極2と対向する面に設けられる固体誘電体、5はプラズマ処理される被処理物、6は後述する共振回路の一方の出力端と放電電極2間に接続される接続線、7は共振回路の他方の出力端と放電電極3間に接続される接続線、8は放電電極2、3間に雰囲気および原料(処理用)ガスを供給するガス導入管、9は排ガスを排出するガス排出管、10はプラズマ発生空間である。

【0021】上記放電電極2、3としては、例えば、銅、アルミニウム等の金属単体、ステンレス、真鍮等の合金、金属間化合物等が用いられ、それらの構造は、同図に示すような平行平板型に限らず、円筒対向平板型、球対向平板型、双曲面対向平板型、同軸円筒型、円筒対向円筒型の各構造を用いることが可能である。

【0022】また、固体誘電体4は、同図に示すような放電電極3に設置するものに限らず、放電電極2、3の対向面の一方または双方に設置するようにしてもよい。固体誘電体4は、放電電極3に密着するように設置し、対向する放電電極2に対して放電電極3の対向面を覆うようにして、アーク放電への移行を防止するように構成する。

【0023】また、本発明に係る常圧プラズマ処理装置は開放系の装置であってもよい。その例を図2および図3に示す。

【0024】図2に示す常圧プラズマ処理装置は、一対の放電電極(平板電極)101、102を備えている。これら放電電極101、102は、互いに一定の間隔をあけて対向するように配置されており、この一対の放電電極101、102間にプラズマ発生空間110が形成される。各放電電極101、102の表面(電極対向面)はそれぞれ固体誘電体111、121によって被覆されている。

【0025】そして、図2の常圧プラズマ処理装置において、一対の放電電極101、102間に被処理物(図示せず)を配置するか、もしくは電極間に被処理物を搬送するとともに、一対の放電電極101、102間にプラズマ発生空間110にガス導入口(図示せず)から原料ガス(処理ガス)を供給した状態で、一対の放電電極101、102の電極間に、後述する共振回路からの電界(連続波)を印加する。この電界印加により、プラズマ発生空間110にグロー放電プラズマが発生し、被処理物の表面にプラズマ処理が施される。

【0026】図3に示す常圧プラズマ処理装置は、ロール電極(円筒電極)201、平板電極202、およびX-Y-Z移動機構203などを備えている。

【0027】ロール電極201と平板電極202とは所

定の間隔をあけて対向配置されており、これらロール電極201と平板電極202との間にプラズマ発生空間210が形成される。ロール電極201の表面は固体誘電体211によって被覆されている。また、平板電極202上には固体誘電体221が設けられている。平板電極202は、X-Y-Z移動機構203によって移動される可動電極であり、この平板電極202上に置かれた被処理物200を搬送することができる。

【0028】そして、図3の常圧プラズマ処理装置において、平板電極202上に被処理物200を置き、次いでロール電極201と平板電極202との間に、ガス導入口(図示せず)から原料ガス(処理ガス)を供給した状態で、ロール電極201と平板電極202との間に、後述する共振回路からの電界(連続波)を印加する。この電界印加により、ロール電極201と平板電極202との間のプラズマ発生空間210にグロー放電プラズマが発生し、そのプラズマ発生空間210を被処理物200が通過することにより、被処理物200表面にプラズマ処理が施される。なお、図3の常圧プラズマ処理装置において、ロール電極201を回転させる回転機構を設けておくことが好ましい。

【0029】本発明の常圧プラズマ処理方法および装置において、プラズマ処理容器内に供給される雰囲気および原料ガス(処理ガス)は、プラズマ発生空間に均一に供給されることが望ましく、例えば図1の常圧プラズマ処理装置では、ガス導入管8から被処理物5の上方のプラズマ発生空間10にガスを供給し、処理後の排ガスはガス排出口9から排出される。

【0030】また、図2および図3の開放系の常圧プラズマ処理装置では、例えば、電極間のプラズマ発生空間110、210に、電極近傍に配置したガス導入口(図示せず)からガスを均一に供給し、処理後の排ガスを電極近傍に配置した排気機構(図示せず)にて強制的に排気するというガス供給・排気系を設けておけばよい。

【0031】次に、本発明を更に具体的に説明する。

【0032】まず、本発明の常圧プラズマ処理方法および装置は、半導体素子の製造において、ガス種類の変更、電界条件の変更、成膜環境の変更などを行うことにより、基板上に、それぞれ、電極形成、層間絶縁膜形成、パッシベーション膜形成(保護膜)、Si膜形成等の薄膜形成が可能となる。

【0033】また、本発明の常圧プラズマ処理方法および装置は、基材表面に、電気的・光学的機能を与えていたり、被処理物の表面から有機物除去、レジスト除去、高分子フィルムの接着性向上、ガラス系基板・プリント配線基板(FPC)の洗浄、金属除去、デスマニア、アッショング、エッチング、デスカム、滅菌洗浄などに利用できる。

【0034】本発明において処理に用いるガスとしては、電界を印加することによってプラズマを発生するガ

スであれば、特に限定されず、処理目的に応じて種々のガスを使用できる。処理に用いるガスを以下に具体的に説明する。

【0035】本発明において処理に用いるガスとして、アルゴン、ネオン、クリプトンなどの希ガス、O<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、水、空気、アルコールやケトン類のような有機化合物等の酸素元素含有化合物、N<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>等の窒素元素含有化合物、SO<sub>2</sub>、SO<sub>3</sub>等の硫黄元素含有化合物などが挙げられる。これらのガスを用いて、被処理物の表面にカルボニル基、水酸基、アミノ基等の親水性官能基を形成させて表面エネルギーを高くし、親水性表面を得ることができる。また、酸素含有化合物にCF<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>等のフッ素含有化合物を添加することで、親水化を促進させることもできる。また、アクリル酸、メタクリル酸等の親水基を有する重合性モノマーを用いて親水性重合膜を堆積することもできる。さらに、CF<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>、CF<sub>3</sub>CFCF<sub>3</sub>、CC1F<sub>3</sub>等のフッ素元素含有化合物を用いて撥水性表面を得ることもできる。

【0036】本発明において、Al、Cu、Si、Ti、Snなどの金属の金属-水素化合物、金属-ハロゲン化合物、金属アルコラート化合物等の原料ガス、例えば有機アルミニウム化合物ガス等を用いて金属膜(例えば電極膜)を形成することができる。また、Si、Ti、TiSn等の金属-水素化合物、金属-ハロゲン化合物、アルキル金属化合物等と酸素あるいはアルコラートガス等の原料ガスを用いて、SiO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>、SnO<sub>2</sub>等の金属酸化物薄膜(例えば層間絶縁膜)を形成することができる。さらに、層間絶縁膜の内の最終絶縁膜であるパッシベーション膜用として、主として窒化珪素膜形成ガス、例えばシラン系ガスと窒素含有ガス等を用いてSi<sub>x</sub>N<sub>y</sub>膜等を形成することができる。

【0037】なお、経済性および安全性の観点から、上記原料ガス(処理ガス)単独雰囲気よりも、希釈ガスによって希釈された雰囲気中で処理を行うことが好ましい。希釈ガスとしては、ネオン、アルゴン、キセノン等の希ガス、窒素气体等が挙げられる。これらは単独でも2種以上を混合して用いてもよい。

【0038】本発明に用いる他の原料ガスとして、Si系ガスを挙げることができる。Si系ガスとしては、Si-i水素系ガス、Si-iハロゲン系ガス、Si-iフッ素系ガス等を用いることができ、例えば、SiH<sub>4</sub>(シラン)、Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(ジシラン)、Si<sub>3</sub>H<sub>8</sub>(トリシラン)、Si<sub>4</sub>H<sub>10</sub>(テトラシラン)等を用いて、アモルファスSi膜、ポリSi膜、SiC膜、a-SiC(アモルファス炭化シリコン)膜等の薄膜を形成することができる。このようなシラン系ガスに、GeH<sub>4</sub>、AsH<sub>3</sub>、B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>等の不純物ガスを混合させることによりアモルファスSi層にP、B、As、Ge等がドーピングされた薄膜を形成することができる。

50 【0039】また、本発明においてアモルファス酸化シ

リコン (a-SiO) 膜およびアモルファス窒化シリコン (a-SiN) 膜を形成することも可能である。

【0040】アモルファス酸化シリコン (a-SiO) を形成する場合、前記シラン系ガスのほかに、酸素原子導入用のガスとして使用できるものとして、例えば、酸素 (O<sub>2</sub>)、オゾン (O<sub>3</sub>)、一酸化窒素 (NO)、二酸化窒素 (NO<sub>2</sub>)、一酸化二窒素 (N<sub>2</sub>O)、三酸化二窒素 (N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、四酸化二窒素 (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)、五酸化二窒素 (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、三酸化窒素 (NO<sub>3</sub>)、シリコン原子 (Si) と酸素原子 (O) と水素原子 (H) とを構成原子とする、例えば、ジシロキサン (H<sub>2</sub>SiOSiH<sub>3</sub>)、トリシロキサン (H<sub>3</sub>SiOSiH<sub>2</sub>OSiH<sub>3</sub>) 等の低級シロキサン等を挙げることができる。

【0041】アモルファス窒化シリコン (a-SiN) を形成する場合、前記シラン系ガスのほかに、窒素原子導入用のガスとして使用できるものとして、例えば、窒素 (N<sub>2</sub>)、アンモニア (NH<sub>3</sub>)、ヒドラジン (H<sub>2</sub>N NH<sub>2</sub>)、アジ化水素 (HN<sub>3</sub>) 等のガス状のまたはガス化し得る窒素、窒素物およびアジ化物等の窒素化合物を挙げができる。

【0042】上記のシラン系ガスには、必要に応じて導電性を制御する原子を含むガスを加えて使用してもよい。

【0043】伝導性を制御する原子としては、半導体分野で用いられている不純物を挙げができる。具体的には、例えば、P型伝導特性を与える周期律表13族に属する原子またはn型伝導特性を与える周期律表15族に属する原子を挙げができる。

【0044】前記周期律表13族に属する原子導入用の原料物質として、例えば、ホウ素の原子導入用には、B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、B<sub>4</sub>H<sub>10</sub>、B<sub>5</sub>H<sub>9</sub>、B<sub>5</sub>H<sub>11</sub>、B<sub>6</sub>H<sub>10</sub>、B<sub>6</sub>H<sub>12</sub>、B<sub>6</sub>H<sub>14</sub>等の水素化ホウ素、BF<sub>3</sub>、BC<sub>13</sub>、BBF<sub>3</sub>等のハロゲン化ホウ素などが挙げられる。このほか、AlC<sub>13</sub>、GaCl<sub>3</sub>、Ga(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>、InCl<sub>3</sub>、TlCl<sub>3</sub>等も挙げができる。

【0045】前記周期律表15族に属する原子導入用の原料物質として、例えば、リンの原子導入用には、PH<sub>3</sub>、P<sub>2</sub>H<sub>4</sub>等の水素化リン、PH<sub>4</sub>I、PF<sub>3</sub>、PF<sub>5</sub>、PCl<sub>3</sub>、PCl<sub>5</sub>、PB<sub>3</sub>、PB<sub>5</sub>、PI<sub>3</sub>等のハロゲン化リンが挙げられる。このほか、AsH<sub>3</sub>、AsF<sub>3</sub>、AsCl<sub>3</sub>、AsBr<sub>3</sub>、AsF<sub>5</sub>、SbH<sub>3</sub>、SbF<sub>3</sub>、SbF<sub>5</sub>、SbCl<sub>3</sub>、SbCl<sub>5</sub>、BiH<sub>3</sub>、BiCl<sub>3</sub>、BiBr<sub>3</sub>等も出発物質の有効なものとして挙げができる。また、これらの伝導性を制御する原子導入用の原料物質を必要に応じてH<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、He、Ne、Ar等により希釈して使用してもよい。

【0046】本発明において、被処理物の表面に存在する有機物のクリーニング、レジストの剥離、有機フィルムのエッチャリング、LCDの表面クリーニング、ガラス板の表面クリーニングなどを行う場合は、酸素、空気、C

O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>Oなどの酸化性ガスを用いるのが好ましい。また、反応ガスとしてCF<sub>4</sub>などのフッ素系ガスも適宜用いることができ、シリコンなどのエッチャリングを行う場合にはこのフッ素系ガスを用いるのが効果的である。また、金属酸化物の還元を行う場合は、水素、アンモニアなどの反応ガス(還元性ガス)を用いる。

【0047】図4は、本発明に係る常圧プラズマ処理装置の基本構成の一例を示す図である。

【0048】同図において、21は直流電源、22はインバータ回路、23、24はイミタンス変換を行う共振回路を構成するインダクタ、25は同じくイミタンス変換を行う共振回路を構成するコンデンサ、26は変動防止コンデンサである。その他の構成は図1に示す同符号の構成に対応するので説明を省略する。

【0049】ここで、インバータ回路22は、フルブリッジ形式で構成されているが、ハーフブリッジ形式で構成してもよい。

【0050】変動防止コンデンサ26は、放電電極2、3間の静電容量のみでもプラズマの発生は可能であるが、放電前後に発生する放電電極2、3の静電容量の変化が共振周波数に影響を与えるため、共振周波数が大きく変動する場合は共振を維持できない場合があることを考慮して、静電容量の変化を緩和するために挿入される。通常、変動防止コンデンサ26の容量は、放電電極2、3間の静電容量の1~10倍程度に設定される。

【0051】イミタンス変換を行う共振回路は、主としてインダクタ23、24およびコンデンサ25で構成され、電圧源であるインバータ回路22の出力を電流源に変換する機能を有し、放電電極2、3間に変換された電流源から電界が印加される。

【0052】本実施形態において、共振回路の容量成分(C)は、詳細には、変動防止コンデンサ26も設けているので、変動防止コンデンサ26の容量成分、放電電極2、3間の容量成分、およびコンデンサ25の容量成分を合成した合成容量となる。

【0053】また、共振回路のインダクタンス成分(L)も、インバータ回路22の出力側に他のインダクタンス成分が含まれる場合は、インダクタ23、24以外に、それらのインダクタンス成分を含めた合成インダクタンスとなる。

【0054】共振回路から出力される電圧波形および電流波形は、一般的には正弦波形になるが、必ずしもサイン波形に限定されず、必要に応じて他の回路構成を付加して、三角波、のこぎり波等に近い波形を用いることも可能である。

【0055】このように、本実施形態の発明では、インバータ回路22と放電電極2、3間にイミタンス変換を行う共振回路を設けたことにより、放電電極2、3から見て、インバータ回路22からなる電圧源を、等価的な電流源に変換することができる。この共振回路による共

振は、まず共振条件である共振周波数  $f = 1 / (2\pi(LC)^{1/2})$  が成立する L、C を適切に選択し、共振周波数 f でインバータ回路 22 を駆動することが必要である。

【0056】本実施形態の発明では、イミタンス変換を行う共振回路により、放電電極 2、3 側から見て等価的に電流源に変換されるので、この電流源の電流制限機能により常圧下で発生する可能性のあるアーク放電を効果的に防止することができる。その結果、放電電極 2、3 間に、パルス電界を印加することなく、また特定の雰囲気ガスを供給することなく、常圧（大気圧）下において、連続波で安定的にプラズマ放電を持続させることができる。

【0057】ここで、イミタンス変換により電圧源を電流源に変換すると、常圧（大気圧）下でアーク放電に至らずにプラズマを維持できるメカニズムについて説明する。

【0058】通常のインバータ回路は、電源としては電圧源であるので、一旦放電電極間でアーク放電が発生すると、アーク放電領域では電圧-電流特性が負特性であるため、電流が増大し制御不能におちりアーケ放電を発生し続けてしまうことになる。それに対して、イミタンス変換を利用して電圧源を電流源に変換しておくと、放電電極間でアーケ放電が発生しようとすると、電流源による電流制限作用により所定値以上の電流が流れることはあり得ず、よってアーケ放電状態を呈することなく、自動的にグロー放電領域でプラズマ状態を保持することができる。

【0059】図 5 は、本発明に係る他の常圧プラズマ処理装置の基本構成を示す図である。

【0060】同図において、27 はイミタンス変換を行う共振回路を構成するインダクタである。その他の構成、役割は図 4 に示す同符号の構成、役割に対応するので説明を省略する。

【0061】この常圧プラズマ処理装置は、図 4 に示す常圧プラズマ処理装置と比べて、イミタンス変換を行う共振回路が簡易型に構成され、インダクタンス成分 (L) がインダクタ 27、容量成分 (C) が放電電極 2、3 間容量とコンデンサ 26 との合成容量で構成される。

【0062】この常圧プラズマ処理装置においても、この簡便に構成された共振回路のイミタンス変換機能により、図 4 の常圧プラズマ処理装置と同様に、放電電極 2、3 から見た電源が電圧源から電流源に変換され、電流源による電流制限作用によりアーケ放電状態に移行することなく、自動的にグロー放電領域でプラズマ状態を保持することができる。

【0063】図 6 は、本発明に係る他の常圧プラズマ処理装置の基本構成を示す図である。

【0064】同図において、28 はインバータ回路 22

と共振回路間に設けられるトランス、29 はイミタンス変換を行う共振回路を構成するインダクタである。その他の構成、役割は図 5 に示す同符号の構成、役割に対応する。

【0065】この常圧プラズマ処理装置は、図 5 に示す常圧プラズマ処理装置と比べて、トランス 28 が設けられている点で相違し、イミタンス変換を行う共振回路のインダクタンス成分 (L) が、トランス 28 の 2 次側巻線のインダクタンス成分とインダクタ 29 との合成インダクタンスで構成され、共振回路の容量成分 (C) は、放電電極 2、3 間容量とコンデンサ 26 との合成容量で構成される。

【0066】この常圧プラズマ処理装置においても、共振回路のイミタンス変換により、図 5 の常圧プラズマ処理装置と同様に、放電電極 2、3 から見た電源が電圧源から電流源に変換され、電流源による電流制限作用によりアーケ放電状態に移行することなく、自動的にグロー放電領域に戻るように制御される。

【0067】図 7 は、本発明に係る他の常圧プラズマ処理装置の基本構成を示す図である。

【0068】同図において、30 は共振回路の周波数を検出する周波数検出部、31 は検出された周波数に基づいてインバータ回路 22 のゲート回路を制御するための制御信号を出力する自動同調回路、32 は自動同調回路 31 から出力される制御信号に基づいてインバータ回路 22 のゲート回路に駆動信号を出力するインバータゲート駆動回路である。その他の構成、役割は図 6 に示す同符号の構成、役割に対応する。

【0069】この常圧プラズマ処理装置は、図 6 に示す常圧プラズマ処理装置と比べて、自動同調回路 31 等が設けられている点で相違するが、イミタンス変換を行う共振回路は図 6 に示す共振回路と同様に構成される。

【0070】この常圧プラズマ処理装置では、周波数検出部 30 により、熱上昇等の外乱により変動する共振周波数を共振電圧の変化または共振電流の変化で検出し、自動同調回路 31 で放電前後における放電電極 2、3 間の静電容量の変動分を補正するようインバータゲート駆動回路に駆動信号を送出する。その結果、共振回路のインピーダンスの変動に拘わらず、共振状態を常時正常に保持することができる。

【0071】図 8 は、図 6 に示す常圧プラズマ処理装置を用いた場合の放電電極 2、3 間の電圧波形および電流波形を示す図である。

【0072】ここで、図 6 に示す常圧プラズマ処理装置の具体的構成として、放電電極 2、3 の構造はステンレス鋼表面にアルミナを溶射したものを高圧側（放電電極 2）、接地側（放電電極 3）共に使用し、電極間距離を 2 mm に設定した。放電電極 2、3 間の事前に測定された静電容量は約 100 pF、共振周波数の変動を緩和するため挿入された変動防止コンデンサ 26 は 470 p